



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 199 38 058 A 1**

⑤① Int. Cl.⁷:
G 05 G 3/00
B 23 Q 1/44

②① Aktenzeichen: 199 38 058.9
②② Anmeldetag: 12. 8. 1999
④③ Offenlegungstag: 22. 2. 2001

DE 199 38 058 A 1

⑦① Anmelder:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

⑦④ Vertreter:
Grünecker, Kinkeldey, Stockmair & Schwanhäusser,
80538 München

⑦② Erfinder:
Schleicher, Siegfried, Dr., 09113 Chemnitz, DE

⑤⑤ Entgegenhaltungen:
DE 197 10 325 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

- ⑤④ Bewegungseinrichtung zur Bewegung einer Halteeinrichtung
⑤⑦ Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer
Halteeinrichtung mit zumindest zwei seriell angeordneten
Bewegungsvorrichtungen, wobei zumindest eine der se-
riell angeordneten Bewegungsvorrichtungen als eine Zir-
kular-Bewegungsvorrichtung mit einer Zirkularführung
und einem Zirkularschlitten ausgebildet ist.

DE 199 38 058 A 1

Die vorliegende Erfindung betrifft Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung, insbesondere zum Halten eines Werkzeuges und/oder Werkstückes in einer Werkzeugmaschine, mit zumindest zwei seriell angeordneten Bewegungsvorrichtungen, mit Führungseinrichtungen und darauf gelagerten, bewegten Schlitteneinrichtungen, wobei die Halteeinrichtung an einer seriellen Bewegungsvorrichtung vorgesehen ist

Bei Werkzeugmaschinen, beispielsweise zur spanenden Bearbeitung, sind verschiedenartige Bewegungseinrichtungen für eine ebene und räumliche Bewegung eines Werkzeugs oder Werkstücks bekannt. Bei diesen bekannten Bewegungseinrichtungen wird ein Werkzeug, wie z. B. eine Fräseinrichtung, durch Bewegungsvorrichtungen entlang von Linearachsen oder um Gelenkarmachsen (Roboter) bewegt und durch Rundachsen geschwenkt bzw. gedreht. Diese Bewegungsvorrichtungen sind aufeinander abgestützt (z. B. Kreuzschlittenanordnung), wobei mit einer Bewegung einer Bewegungsvorrichtung alle nachfolgenden Vorrichtungen bezüglich eines Maschinenfundaments oder dgl. bewegt werden. Diese aufeinanderfolgende oder serielle Anordnung von Bewegungsvorrichtungen bildet eine sogenannte serielle Bewegungseinrichtung oder Seriell-Kinematik.

Weiterhin werden auch Parallel-Kinematiken, wie z. B. Hexapoden als Bewegungseinrichtung verwendet, wenn sehr schnelle 5-Achsbewegungen erzeugt werden sollen. Bei diesen Parallel-Kinematiken oder parallelen Bewegungseinrichtungen sind die einzelnen Bewegungsvorrichtungen (z. B. Linear-Zylinder etc.) im wesentlichen jeweils einerseits mit einem Werkzeug und andererseits mit einem Maschinenfundament verbunden, und die räumliche Bewegung eines Werkzeugs oder Werkstücks entsteht durch die zeitlich parallele unabhängige Bewegung der parallel beteiligten Bewegungsvorrichtungen (Streben).

Bei diesen beiden verschiedenartigen Bewegungseinrichtungen besteht jedoch das grundsätzliche Problem, daß die Seriell-Kinematik eher für kleine Vorschübe bzw. niedrige Bahngeschwindigkeiten bei großen Kräften geeignet sind bzw. optimiert werden und die Parallel-Kinematik eher für große Vorschübe bzw. hohe Bahngeschwindigkeiten bei geringen Kräften geeignet sind bzw. optimiert werden.

So ermöglicht eine Bewegungseinrichtung (Parallel-Kinematik) vom oben genannten Hexapodtyp zwar eine Bewegung mit vielen Freiheitsgraden (5-Achsbewegung) bei relativ großen Bahngeschwindigkeiten, für schwere Zerspanungsschnitte mit großen Kräften wie z. B. bei einer Schruppbearbeitung und für große Arbeitsräume hingegen sind die Hexapoden nicht besonders geeignet.

Für die Bearbeitung mit schweren Zerspanungsschnitten bei großen Kräften wie z. B. bei einer Schruppbearbeitung und für große Arbeitsräume werden unterschiedlichste serielle Bewegungseinrichtungen, wie beispielsweise serielle Linear-Kinematiken eingesetzt. Dabei besteht jedoch das grundsätzliche Problem, daß bei einer seriellen Anordnung der Bewegungsvorrichtungen die bewegten Massen der Seriell-Kinematik in der Regel zwangsläufig zunehmen um hohen Kräfte aufnehmen zu können. Durch diese großen bewegten Massen werden die möglichen Bahngeschwindigkeiten und Beschleunigungen begrenzt. Für die Realisierung hoher Bahngeschwindigkeiten muß daher die bewegte Masse möglichst gering gehalten werden. Dies wirkt sich jedoch in der Regel nachteilig auf die maximal aufnehmbaren Kräfte aus.

Dieser Zielkonflikt, d. h. eine Bewegungseinrichtung für hohe Bahngeschwindigkeiten bzw. Beschleunigungen und

hohe aufnehmbare Kräfte wird im Stand der Technik teilweise dadurch gelöst, daß die konstruktive Gestaltung hinsichtlich des Leichtbaus optimiert und Leichtbauwerkstoffe wie beispielsweise Metallschaum verwendet werden. Dies führt jedoch unter relativ hohem Aufwand und hohen Kosten nur bedingt zu einer entscheidenden Verbesserung, so daß bei den Bewegungseinrichtungen, beispielsweise für Werkzeugmaschinen, eine Kompromißlösung verwirklicht wird. Ein Kompromiß im Hinblick auf die genannten Optimierungsziele bedeutet jedoch im Falle einer Komplettbearbeitung eines Werkstücks, d. h. eine Vorbearbeitung mit geringem Vorschub bei hohen Kräften und einer nachfolgenden Feinbearbeitung bei hohem Vorschub mit geringen Kräften, daß die Produktivität einer derartigen Werkzeugmaschine eingeschränkt ist, d. h. die Produktivität ist nicht optimiert hinsichtlich der technischen Möglichkeiten der jeweiligen Arbeitsschritte, wenn diese allein für sich betrachtet und optimiert würden.

Bei einer Aufteilung der Bearbeitungsschritte (d. h. Vorbearbeitung und Feinbearbeitung) auf zwei für sich jeweils optimierte Werkzeugmaschinen ist ein zeitaufwendiges Umspannen der Werkstücke notwendig. Das Umspannen der Werkstücke ist jedoch nur dann sinnvoll, wenn die Anzahl der Werkstücke (Losgröße) besonders hoch ist und die Abmessungen bzw. das Gewicht der Werkstücke bestimmte Größen nicht überschreitet, so daß die Handhabung dieser Werkstücke einfach bleibt. Es ist jedoch zu bedenken, daß auch bei einer großen Anzahl von relativ kleinen und leichten Werkstücken die Produktivität des Gesamtbearbeitungsprozesses allein durch den Umspannvorgang herabgesetzt wird.

Weiterhin ist eine Kombination von einer Seriell-Kinematik mit einer Parallel-Kinematik bekannt. Dabei werden beispielsweise Hexapod-Strebenfüße seriell, d. h. auf einer linearen Bewegungseinrichtung angeordnet. Bei einer derart geschaffenen Hybrid-Kinematik (Kombination aus Seriell- und Parallel-Kinematik) wird jedoch lediglich der Arbeitsraum der Parallel-Kinematik erweitert. Hinsichtlich großer Bahngeschwindigkeiten und schwerer Zerspanungsschnitte mit großen Kräften bringt eine derartige Hybrid-Kinematik keine Vorteile.

Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung der eingangs genannten Art zu schaffen, die hohe Bahnbeschleunigungen bei hoher Präzision ermöglicht.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch eine Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung der eingangs genannten Art, wobei zumindest eine der seriell angeordneten Bewegungsvorrichtungen als eine Zirkular-Bewegungsvorrichtung mit einer ebenen Zirkularführung und einem Zirkularschlitten ausgebildet ist, und der Zirkularschlitten drehbar um eine Mittelpunktachse der Zirkularführung gelagert ist.

Dadurch wird es bei einem Einsatz der erfindungsgemäßen seriellen Bewegungseinrichtung bzw. Seriell-Kinematik in einer Werkzeugmaschine auf vorteilhafte Weise möglich, die Produktivität zu steigern, da sowohl eine Vorbearbeitung mit hohen Kräften als auch eine Feinbearbeitung mit hohen Bahngeschwindigkeiten bzw. Vorschüben durchgeführt werden kann.

Somit kann eine Komplettbearbeitungsmaschine geschaffen werden, mit der eine komplette Bearbeitung (Schruppbearbeitung und Schlichtbearbeitung) bei geringer Gesamtbearbeitungszeit, insbesondere mit einer Werkstückaufspannung durchgeführt werden kann.

Weiterhin können direkt wirkende Linearantriebe in Form von gekrümmten bzw. kreisförmigen Linearantrieben in einfacher Weise an die Zirkularführung bzw. den Zirkularschlitten

ten angepaßt, und insbesondere mit vergrößerter nutzbarer Wirkfläche zur Aufnahme hoher Kräfte realisiert werden. Dadurch kann auf einfache und kostengünstige Weise eine serielle Bewegungseinrichtung (Seriell-Kinematik) geschaffen werden, die einen spiel- und verschleißfreien Direktantrieb aufweist, wobei durch die Zirkularführung bzw. den Zirkularschlitten die bewegten Massen gering gehalten werden können.

Alternativ oder ergänzend dazu können ebenso rotatorische Indirektantriebe zur Bewegung des Zirkularschlittens verwendet werden. An der Peripherie des Zirkularschlittens bzw. der Zirkularführung kann eine Antriebseinrichtung mit nicht mitbewegte Motoranordnungen ausgebildet werden, wodurch die bewegten Massen verringert werden. Die Kraftübertragung für dieses Antriebskonzept kann über Riem- 5, z. B. Zahnriemen, Zahnräder oder Reibräder, erfolgen. Bei einem Reibradantrieb können, in Funktionskombination, die Reibräder als Führungswälzelemente ausgebildet sein, so daß der Antrieb spielfrei ist und die bewegten Massen weiter reduziert sind.

Durch die Ausgestaltung der Bewegungseinrichtung mit einer Zirkularführung und einem Zirkularschlitten ist die Nachgiebigkeit bzw. die Verformbarkeit der Bewegungseinrichtung verringert. Insbesondere weist eine derartige serielle Bewegungseinrichtung (Seriell-Kinematik) mit Zirkularführung und Zirkularschlitten eine verringerte oder keine Neigung zur Kippung auf, und eine Schrägstellung, wie dies beispielsweise bei herkömmlichen Linearführungen mit Linearschlitten, insbesondere mit großer Führungsbreite gegenüber einer kleinen Führungslänge zu beobachten ist, tritt nicht auf. Weiterhin zeigt eine Zirkularführung in Kombination mit dem Zirkularschlitten keine thermisch bedingte Ausdehnung in Achsrichtung, wie dies bei herkömmlichen Linearführungen zu beobachten ist.

In vorteilhafter Weise sind die Nachgiebigkeiten bzw. Verformbarkeiten des Zirkularschlittens/der Zirkularführung unabhängig von der Bewegungsrichtung des Zirkularschlittens und unabhängig von der Position des Zirkularschlittens.

Durch die Ausbildung einer Bewegungsvorrichtung bzw. Kinematik als Zirkularführung und Zirkularschlitten kann die Abstützlänge des Schlittens auf der Führung maximiert werden. Weiterhin können bei der Lagerung eines Zirkularschlittens auf einer Zirkularführung in einfacher Weise Wälzführungen verwendet werden, wobei die Übertragung großer Kräfte möglich wird und der Verschleiß der genannten Führung minimiert wird.

In bevorzugter Weise ist eine zweite, der seriell angeordneten Bewegungsvorrichtungen auf dem ersten Zirkularschlitten gelagert ist. Dadurch wird eine Abstützkraft der Halteeinrichtung, die beispielsweise ein Werkzeug, wie eine Frässpindel trägt, von der zweiten Bewegungsvorrichtung auf den ersten Zirkularschlitten übertragen, wobei der erste Zirkularschlitten mit hoher Präzision bei hoher Dynamik bewegbar ist.

Weiterhin weist der erste Zirkularschlitten und/oder die erste Zirkularführung der Bewegungseinrichtung in bevorzugter Weise eine geschlossene kreisförmige erste Lagereinrichtung um die erste Mittelpunktsachse auf, wobei diese kreisförmige Lagereinrichtung durch eine verbesserte radiale und axiale Abstützung der Drehbewegung zur verbesserter Achsdynamik bei hoher Geschwindigkeit beiträgt.

In bevorzugter Weise besitzt die Halteeinrichtung eine Hauptachse, wobei ein erster Abstand der Hauptachse der Halteeinrichtung von der ersten Mittelpunktsachse stets kleiner oder gleich einem ersten Radius der geschlossenen kreisförmigen ersten Lagereinrichtung ist. Dadurch bewegt sich die Halteeinrichtung, die ein Werkzeug oder dgl. trägt

zumindest mit seiner Hauptachse, die im wesentlichen der Mittel- oder Schwerpunktsachse entspricht, innerhalb der kreisförmigen Lagereinrichtung. Durch diese vorteilhafte Gestaltung werden Kräfte, von der Halteeinrichtung auf die Lagereinrichtung im wesentlichen immer in einer Richtung (bzw. Axial- und Radialkomponente der Kraft) übertragen, so daß während der Bewegung der Halteeinrichtung im wesentlichen kein Wechsel der Krafteinleitungsrichtung erfolgt, und somit eine gleichmäßige und spielfreie Bewegung auch bei hohen Geschwindigkeiten und großen Lagerkräften möglich ist.

Gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Bewegungseinrichtung ist die zweite seriell angeordnete Bewegungsvorrichtung eine zweite Zirkular-Bewegungsvorrichtung mit einer zweiten Zirkularführung und einem zweiten Zirkularschlitten, wobei der zweite Zirkularschlitten drehbar um eine zweite Mittelpunktsachse durch die zweite Zirkularführung gelagert ist. Durch die Kombination der zwei Zirkularführungen und -schlitten läßt sich eine Bewegungseinrichtung realisieren, die reine Drehbewegungen zum Positionieren der Halteeinrichtung verwendet. Dadurch lassen sich die vorangehend geschilderten Vorteile einer Zirkularführung 1 eines Zirkularschlittens in einfacher Weise für die Bewegung der Halteeinrichtung in einer Ebene nutzen.

In bevorzugter Weise weist der zweite Zirkularschlitten und/oder die zweite Zirkularführung eine geschlossene kreisförmige zweite Lagereinrichtung um die zweite Mittelpunktsachse auf, die prinzipiell gleich der ersten Lagereinrichtung aufgebaut ist, und die Halteeinrichtung wird durch den zweiten Zirkularschlitten gelagert, wobei gemäß einer Ausführungsform der Radius der ersten Lagereinrichtung kleiner als ein doppelter Radius der zweiten Lagereinrichtung ist.

In bevorzugter Weise ist die erste und zweite Zirkularführung und der erste und zweite Zirkularschlitten im wesentlichen in einer Ebene angeordnet sind. Dadurch kann die Bewegungseinrichtung kompakt aufgebaut werden, wobei keine achsorientierten Kraftübertragungsbereiche auftreten und Biegemomente innerhalb der Bewegungseinrichtung minimiert werden können.

Weiterhin weist eine bevorzugte Ausführungsform der Bewegungseinrichtung zumindest eine weitere Halteeinrichtung auf, die durch den zweiten Zirkularschlitten gelagert ist. Dadurch können zumindest zwei Werkzeuge gleichzeitig durch die Bewegungseinrichtung mitgeführt werden, ohne das eine wesentliche Erhöhung der Baugröße der Bewegungseinrichtung erforderlich ist. Somit kann beispielsweise ein Ersatzwerkzeug bereitgestellt werden, das durch einen einfachen Steuerbefehl (drehen des zweiten Zirkularschlitten um einen vorgegebenen Winkel) in die Position des ersten Werkzeugs gebracht werden und zum Einsatz kommen, ohne daß der Bearbeitungsprozeß wesentlich unterbrochen werden muß. Weiterhin kann, durch den Zirkularschlitten ein erstes Werkzeug z. B. für die Schruppbearbeitung durch die erste Halteeinrichtung gelagert werden und ein zweites Werkzeug z. B. für die Schlichtbearbeitung durch die zweite Halteeinrichtung gelagert werden. Dadurch kann nach Abschluß der Schruppbearbeitung im wesentlichen sofort mit der Schlichtbearbeitung des Werkstücks begonnen werden, ohne daß eine zeitaufwendige Umrüstung oder gar ein Maschinenwechsel erforderlich ist.

In bevorzugter Weise sind diese Halteeinrichtungen im wesentlichen gleich ausgebildet. Dadurch ergibt sich eine Standardisierung der Halteeinrichtungen. Dies verbessert die Handhabung der Bewegungseinrichtung insbesondere das Auswechseln ganzer Halteeinrichtungen und zum anderen vereinfacht dies die Bevorratung von Werkzeugen. Da

die Halteeinrichtung im Allgemeinen zur Befestigung von Elementen oder Baugruppen (z. B. Werkzeughalter mit Werkzeug, Parallelkinematik mit Werkzeughalter und Werkzeug etc.) vorgesehen ist, läßt sich durch eine Standardisierung der Halteeinrichtung der Einsatzbereich der Bewegungseinrichtung in einfacher Weise erweitern. Somit kann der Halteeinrichtung beispielsweise auch eine Abtast-sensor (mechanisch oder optisch) zur Abtastung einer Werkstückoberfläche oder dgl. halten.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist die Bewegungseinrichtung eine erste Linear-Bewegungsvorrichtung auf, die seriell an dem ersten Zirkularschlitten gelagert ist, und eine erste Linearführung und einen ersten Linearschlitten ist zum Tragen der Halteeinrichtung aufweist. Durch diese serielle Kombination einer Linear-kinematik mit einer Zirkularkinematik kann die Halteeinrichtung in einfacher Weise auf einer beliebigen Bahn in einem vorgegebenen Zirkularbereich bewegt werden. Diese Ausführungsform ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn die Bearbeitung entlang linearer diametraler Bahnen erfolgen kann.

In bevorzugter Weise ist die erste Zirkularführung drehfest und oberhalb eines auf einem Maschinenfundament gelagerten Arbeitstisch angeordnet. Durch diese geschlossene Bauweise um das Werkstück herum (Rahmen oder Kastenbauweise) kann eine Werkzeugmaschine, insbesondere in Leichtbauweise geschaffen werden, die bei einem großen Bearbeitungsraum (für ein großes Werkstück oder mehrere kleinere Werkstücke in einer Aufspannung) eine hohe Steifigkeit bei geringen Gewicht und geringen Flächenbedarf aufweist. Dadurch sind Bahnbewegungen des Werkzeugs über einen großen Bereich mit hoher Präzision sowohl für hohe Bearbeitungskräfte als auch mit hohen Bahngeschwindigkeiten möglich.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Bewegungseinrichtung ist die Halteeinrichtung drehbar und/oder schwenkbar an dem Schlitten angeordnet bzw. gelagert. Dadurch können auf vorteilhafte Weise Werkzeuge verwendet werden, die eine Lagerorientierung bezüglich der Bearbeitungsrichtung erfordern. Weiterhin wird durch die drehbare und/oder schwenkbare Lagerung der Halteeinrichtung die Zahl der Freiheitsgrade der Bewegung der Bewegungseinrichtung erhöht.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Bewegungseinrichtung trägt die Halteeinrichtung ein Werkzeug. Alternativ dazu kann die Bewegungseinrichtung auch derart gestaltet sein, daß die Halteeinrichtung ein Werkstück trägt. Dadurch ist es auf vorteilhafte Weise möglich ein Werkstück durch die Bewegung des Zirkularschlittens in einer Aufspannung mit hoher Geschwindigkeit und hoher Präzision zu einer Vielzahl von Bearbeitungsstationen in einem großen Bereich zu bewegen. Somit läßt sich insbesondere bei einer komplexen Bearbeitung des Werkstücks die Produktivität des Bearbeitungsprozesses erhöhen.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Bewegungseinrichtung trägt der zweite Schlitten bzw. die Halteeinrichtung eine Parallel-Kinematik in Form einer Hexapod-Parallelkinematik oder eine Dreistreben-Parallelkinematik. Diese Parallel-Kinematik ist dabei seriell als weitere Bewegungsvorrichtung beispielsweise auf dem zweiten Zirkularschlitten oder dem ersten Linearschlitten gelagert. Dadurch wird eine Bewegungseinrichtung in Form einer Hybrid-Kinematik geschaffen, wobei mehrere Bewegungsvorrichtungen wie die Zirkularvorrichtungen seriell angeordnet sind und eine dieser Bewegungsvorrichtungen z. B. die seriell letzte Bewegungsvorrichtung, die das Werkzeug trägt eine Parallel-Kinematik ist. Dadurch lassen sich Paral-

lelkinematiken mit hoher Präzision in einem größeren Arbeitsbereich positionieren und die Vorteile einer Bearbeitung mit derartigen Parallelkinematiken können damit auch für große Werkstücke bzw. mehrere kleine Werkstücke in einer Aufspannung genutzt werden.

Bei dieser Hybrid-Kinematik wird für die, auf der Bewegungseinrichtung gelagerte Parallel-Kinematik der Arbeitsraum durch Verschieben der Parallel-Kinematik entscheidend erweitert. Daher können die einzelnen Linearelemente (Streben) der Parallel-Kinematik entscheidend gekürzt werden, wodurch sich sowohl die Steifigkeit als auch die Präzision der Parallel-Kinematik verbessert.

Die Kombination von zwei seriell angeordneten Zirkular-Bewegungsvorrichtungen mit einer Drei-Streben-Parallel-Kinematik ist besonders vorteilhaft, da hier bereits mit fünf Antrieben eine 5-Achs-Bewegung mit zugleich vergrößerter Spindelschrägstellung bei geringem Bauaufwand und Bau-raum gegenüber einer einzelnen Hexapod-Parallel-Kinematik erreicht wird. In bevorzugter Weise ist dabei eine Haltevorrichtung der Drei-Streben-Parallel-Kinematik zum Halten des Werkzeugs an der rückwärtigen Abstützstelle bewegbar ausgeführt, so daß die erzielbare Schrägstellung der Haltevorrichtung weiter erhöht werden kann, wodurch die Effektivität bezüglich der Komplettbearbeitung verbessert wird.

Weitere bevorzugte Weiterbildungen des Erfindungsgegenstandes sind in den Unteransprüchen dargelegt.

Nachfolgend wird die vorliegende Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen näher erläutert. In den Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 eine Draufsicht der Bewegungseinrichtung mit zwei seriell angeordneten Zirkular-Bewegungsvorrichtungen gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel,

Fig. 2a-2h Beispiele des Bewegungsablaufs der Bewegungseinrichtung für eine Linearbewegung der Halteeinrichtung gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel,

Fig. 3a eine Seitenansicht der Bewegungseinrichtung gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel in einer Werkzeugmaschine,

Fig. 3b eine Draufsicht der in Fig. 3a gezeigten Bewegungseinrichtung, gemäß einer Variante des ersten Ausführungsbeispiels,

Fig. 4a eine Seitenansicht einer Variante der Bewegungseinrichtung mit einer Parallel-Kinematik gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel in einer Werkzeugmaschine,

Fig. 4b eine Draufsicht der Variante der Bewegungseinrichtung, die in Fig. 4a gezeigt ist,

Fig. 5a eine Seitenansicht einer Bewegungseinrichtung mit einer Linear-Bewegungsvorrichtung gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel in einer Werkzeugmaschine, und

Fig. 5b eine Draufsicht der in Fig. 5a gezeigten Bewegungseinrichtung gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel.

In Fig. 1 ist ein erstes Ausführungsbeispiel der Bewegungseinrichtung 30 gezeigt. Diese Bewegungseinrichtung 30 kann insbesondere in einer Werkzeugmaschine zur Lagerung und Positionierung eines Werkzeugs, wie beispielsweise einer Frässpindel mit dem dazugehörigen Fräskopf verwendet werden, wie dies später noch erläutert wird.

Bewegungseinrichtung 30 dient zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung, insbesondere zum Halten eines Werkzeugs und/oder Werkstückes in einer Werkzeugmaschine. Die Bewegungseinrichtung 30 oder Kinematik weist zwei seriell angeordneten Bewegungsvorrichtungen mit Führungseinrichtungen und Schlitteneinrichtungen auf, wobei die Schlitteneinrichtungen bewegbar auf den Führungseinrichtungen gelagert sind, und die Halteeinrichtung an einer der Schlitteneinrichtungen vorgesehen ist. Zumindest eine der seriell angeordneten Bewegungsvorrichtungen als

eine Zirkular-Bewegungsvorrichtung mit einer ebenen Zirkularführung 2, 6 und einem Zirkularschlitten 1, 5 ausgebildet, wobei der Zirkularschlitten 1, 5 drehbar um eine Mittelpunktsachse 3, 7 der Zirkularführung 2, 6 gelagert ist.

Die Bewegungseinrichtung 30 gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel weist eine erste Führungseinrichtung und eine ersten Schlitteneinrichtung und eine zweite Führungseinrichtung und eine zweiten Schlitteneinrichtung zum Tragen der Halteeinrichtung 13 auf. Die Halteeinrichtung 13 ist zum Halten eines Werkzeugs in einer Werkzeugmaschine vorgesehen.

Die Halteeinrichtung der seriellen Bewegungseinrichtung dient zum Halten eines Elements (z. B. Werkzeughalter mit Werkzeug) oder einer Baugruppe (z. B. Parallel-Kinematik), das/die durch die Bewegungseinrichtung in einer Ebene bewegt werden soll.

Die erste Führungseinrichtung einer ersten Zirkular-Bewegungsvorrichtung ist als eine erste Zirkularführung 2 und die erste Schlitteneinrichtung der ersten Zirkular-Bewegungsvorrichtung als ein erster Zirkularschlitten 1 ausgebildet, wobei der erste Zirkularschlitten 1 drehbar um eine erste Mittelpunktsachse 3 durch die erste Zirkularführung 2 gelagert ist. Der erste Zirkularschlitten 1 und/oder die erste Zirkularführung 2 weisen eine geschlossene kreisförmige erste Lagereinrichtung um die erste Mittelpunktsachse 3 auf. Mit anderen Worten, die erste Zirkularführung 2 und der erste Zirkularschlitten 1 sind coaxial bezüglich der ersten Mittelpunktsachse 3 angeordnet. Die erste Lagereinrichtung dient zur radialen und axialen Abstützung des ersten Zirkularschlittens 2 auf der ersten Zirkularführung 1.

Bei der Bewegungseinrichtung 30 bilden die erste Zirkularführung 2 und der zugehörige erste Zirkularschlitten 1 die erste Zirkular-Bewegungsvorrichtung mit zumindest einer geschlossenen kreisförmigen Lagereinrichtung. Diese Lagereinrichtung weist eine kreisförmig ausgebildeten Abstützbereich auf, der entweder an dem Zirkularschlitten oder der Zirkularführung ausgebildet ist. Auf diesen Abstützbereich, beispielsweise an der Zirkularführung 1, stützt sich der Zirkularschlitten 2 an zumindest drei Stützpunkten drehbar um die erste Mittelpunktsachse 3 radial und axial ab. Alternativ dazu kann der kreisförmige Abstützbereich auch an dem Zirkularschlitten ausgebildet sein, wobei die Zirkularführung zumindest drei Stützpunkte aufweist, um den Zirkularschlitten drehbar um die erste Mittelpunktsachse 3 radial und axial abzustützen.

Dabei sind die Stützpunkte auf einem Kreis angeordnet, der dem kreisförmig ausgebildeten Abstützbereich entspricht. In bevorzugter Weise sind die Abstützpunkte symmetrisch bezüglich der Mittelpunktsachse, d. h. bei drei Abstützpunkten um 120° zueinander versetzt auf dem Kreis angeordnet. Abhängig von den abzustützenden Kräften kann auch eine von dieser Aufteilung abweichende Anordnung gewählt werden.

Bei der Anzahl der diskreten Stützpunkte können auch mehr als drei vorgesehen sein. Bei einer höheren Anzahl von Stützpunkten ergibt sich eine breitere Basis zur Übertragung der Abstützkräfte zwischen der Zirkularführung und dem Zirkularschlitten. Wird nun die Anzahl der Stützpunkte weiter erhöht, so erhält man in bevorzugter Weise zwei korrespondierende kreisförmig ausgebildete Abstützbereiche, jeweils an dem Zirkularschlitten und der Zirkularführung.

Die in Fig. 1 gezeigte erste Zirkularführung 2 und der erste Zirkularschlitten 1 der Bewegungseinrichtung 30 sind jeweils mit geschlossenen kreisförmigen Abstützbereichen (Lagereinrichtungen) ausgebildet, so daß sich der erste Zirkularschlitten 1 über den gesamten kreisförmigen Bereich der ersten Lagereinrichtung auf der ersten Zirkularführung radial und axial abstützen kann. Die derart ausgebildete Be-

wegungseinrichtung 30 ist besonders steif, so daß sich auch bei hohen Belastungskräften geringe Lagefehler aufgrund einer elastischen Verformung ergeben. Weiterhin läßt sich bei einer geschlossenen kreisförmigen Gestaltung des Lagerspiel zwischen der Zirkularführung und dem Zirkularschlitten minimieren. Dadurch wird auf einfache und kostengünstige Weise eine Bewegungseinrichtung 30 mit hoher Genauigkeit geschaffen.

Die erste Zirkular-Bewegungsvorrichtungen mit der ersten Zirkularführung 2 und dem ersten Zirkularschlitten 1 ist drehbar um die erste Mittelpunktsachse 3 der ersten Zirkularführung 2 gelagert, und eine zweite der seriell angeordneten Bewegungsvorrichtungen auf dem ersten Zirkularschlitten 1 gelagert.

Die zweite Führungseinrichtung der zweiten seriell angeordneten Bewegungsvorrichtung ist auf dem ersten Zirkularschlitten 1 gelagert, wobei die zweite Führungseinrichtung als eine zweite Zirkularführung 6 ausgebildet ist und die zweite Schlitteneinrichtung als ein zweiter Zirkularschlitten 5 ausgebildet ist. Die zweite Zirkularführung 6 und der zweite Zirkularschlitten 5 bilden eine zweite Zirkular-Bewegungsvorrichtungen, wobei die Halteeinrichtung 13 an dem zweiten Zirkularschlitten 5 vorgesehen ist.

Der zweite Zirkularschlitten 5 ist drehbar um eine zweite Mittelpunktsachse 7 durch die zweite Zirkularführung 6 gelagert, d. h. die zweite Zirkularführung 6 und der zweite Zirkularschlitten 5 sind coaxial bezüglich der zweiten Mittelpunktsachse 7 angeordnet. Der zweite Zirkularschlitten 5 und/oder die zweite Zirkularführung 6 weisen eine geschlossene kreisförmige zweite Lagereinrichtung um die zweite Mittelpunktsachse 7 auf. Die zweite kreisförmige Lagereinrichtung dient zur radialen und axialen Abstützung des zweiten Zirkularschlittens 5 auf der zweiten Zirkularführung 6.

Dabei kann die zweite Zirkularführung und der zweite Zirkularschlitten jeweils in gleicher Weise wie oben in Verbindung mit der ersten Zirkularführung und dem ersten Zirkularschlitten beschrieben ausgebildet sein.

Die in Fig. 1 gezeigte zweite Zirkularführung 6 und der zweite Zirkularschlitten 5 der Bewegungseinrichtung 30 sind jeweils kreisförmig ausgebildet, so daß sich der zweite Zirkularschlitten 1 über den gesamten kreisförmigen Bereich der zweiten Lagereinrichtung auf der zweiten Zirkularführung 6 radial und axial abstützen kann.

Der erste Zirkularschlitten 1 ist im wesentlichen scheibenförmig ausgebildet und ist mit seiner äußeren Umfangsfläche in der ersten Zirkularführung 2 gelagert, die gemäß der gezeigten Ausführungsform ringförmig ausgebildet ist. Wie in Fig. 1 gezeigt ist der scheibenförmige erste Zirkularschlitten 1 durch eine Mehrzahl von Streben gebildet, um das Gewicht möglichst gering zu halten. Diese Streben (8 in Fig. 1) sind in bevorzugter Weise radial bezüglich der zweiten Mittelpunktsachse 7 angeordnet. Alternativ dazu kann der erste Zirkularschlitten auch als Vollscheibe ausgebildet sein.

Der zweite Zirkularschlitten 5 ist im wesentlichen scheibenförmig ausgebildet und ist mit seiner äußeren Umfangsfläche in der zweiten Zirkularführung 6 gelagert, die gemäß der gezeigten Ausführungsform in einer kreisförmigen Öffnung in dem scheibenförmigen ersten Zirkularschlitten 1 ausgebildet ist. Durch diese bevorzugte Ausgestaltung ist die erste und zweite Zirkularführung 2, 6 und der erste und zweite Zirkularschlitten 1, 5 im wesentlichen in einer Ebene angeordnet, die sich senkrecht zu den jeweiligen Mittelpunktsachsen 3, 7 erstreckt. Wie in Fig. 1 gezeigt ist der scheibenförmige zweite Zirkularschlitten 5 ebenfalls durch eine Mehrzahl von Streben gebildet, um das Gewicht möglichst gering zu halten. Diese Streben (4 Stück in Fig. 1) sind

als Schnen paarweise senkrecht zueinander in dem kreis- bzw. scheibenförmigen Zirkularschlitten angeordnet. Alternativ dazu kann der zweite Zirkularschlitten auch als Vollscheibe ausgebildet sein.

Die zweite Mittelpunktsachse 7 ist von der ersten Mittelpunktsachse 3 beabstandet, wobei die erste und zweite Mittelpunktsachse 3, 7 parallel zueinander verlaufen. Somit ist die zweite Mittelpunktsachse 7 auf einer Kreisbahn um die erste Mittelpunktsachse 3 bewegbar. In dieser bevorzugten Ausführungsform erstreckt sich die zweite Mittelpunktsachse 7 innerhalb der ersten Zirkularführung 2. Ein Durchmesser der zweiten Zirkularführung 6 bzw. der zweiten Lagereinrichtung ist größer als der halbe Durchmesser der ersten Zirkularführung 2 bzw. der ersten Lagereinrichtung, so daß die erste Mittelpunktsachse 3 innerhalb der zweiten Zirkularführung 6 verläuft. Mit anderen Worten, der Radius R1 der ersten Lagereinrichtung ist kleiner als ein doppelter Radius R2 der zweiten Lagereinrichtung.

Die kreisförmige zweite Lagereinrichtung ist, bezogen auf die radiale Erstreckung innerhalb der kreisförmigen ersten Lagereinrichtung angeordnet, so daß die zweite Zirkularführung 6 innerhalb der ersten Zirkularführung 2 angeordnet ist. Somit sind die erste Zirkular-Bewegungsvorrichtungen und die zweite Zirkular-Bewegungsvorrichtungen im wesentlichen in einer Ebene angeordnet sind.

Auf dem zweiten Zirkularschlitten 5 ist eine Halteeinrichtung 13 zum Halten einer Frässpindel oder dergleichen, exzentrisch gelagert. Somit ist eine Hauptachse 14 der Halteeinrichtung 13 beabstandet zu der zweiten Mittelpunktsachse 7 angeordnet. Wie aus Fig. 1 ersichtlich, ist der Abstand A2 der zweiten Mittelpunktsachse 7 von der ersten Mittelpunktsachse 3 gleich einem Abstand der Hauptachse 14 der Halteeinrichtung 13 von der zweiten Mittelpunktsachse 7, womit der Abstand A1 der Hauptachse 14 der Halteeinrichtung 13 von der ersten Mittelpunktsachse 3 nie den doppelten Abstand A2 überschreitet, sich also zwischen Null und $2 \cdot A2$ bewegt.

Wie in Fig. 1 gezeigt, ist die Halteeinrichtung 13 im wesentlichen innerhalb der zweiten Zirkularführung 2, d. h. innerhalb der zweiten Lagereinrichtung angeordnet. Dabei ist ein Abstand A1 einer Hauptachse 14 der Halteeinrichtung 13 von der ersten Mittelpunktsachse 3 stets kleiner oder gleich einem Radius R1 der kreisförmigen Lagereinrichtung der ersten Zirkularführung bzw. des ersten Zirkularschlittens. Durch diese Anordnung wird eine Abstützung bzw. Lagerung der Halteeinrichtung erreicht, bei der die axialen Kräfte von der Halteeinrichtung auf die Schlitten- und Führungseinrichtungen im wesentlichen nur in einer Richtung übertragen werden, unabhängig von der jeweiligen Relativlage der Elemente zueinander.

Wie weiterhin aus Fig. 1 ersichtlich, ist eine weitere Halteeinrichtung 13a an dem zweiten Zirkularschlitten 5 gelagert. Dieses weitere Halteeinrichtung 13a ist um 180° versetzt bezüglich dem erstgenannten Halteeinrichtung 13 angeordnet und im wesentlichen gleich zu dieser ausgebildet und trägt eine weitere Werkzeugaufnahme mit einem Werkzeug, wie z. B. eine Frässpindel.

Der Abstand A2 der weiteren Halteeinrichtung 13a zur zweiten Mittelpunktsachse 7 ist im wesentlichen gleich dem Abstand der erstgenannten Halteeinrichtung 13 zur zweiten Mittelpunktsachse 7. Durch eine Drehung des zweiten Zirkularschlittens 5 um 180° wird die weitere Halteeinrichtung 13a in die Position der erstgenannten Halteeinrichtung 13 gebracht und die weitere Bearbeitung des Werkstücks kann so in einfacher Weise durch ein Werkzeug, das an der weiteren Halteeinrichtung 13a gelagert ist, fortgesetzt werden.

Mit dieser Anordnung kann auf einfache Weise ein Ersatzwerkzeug, das durch die weitere Halteeinrichtung 13a

getragen wird, zum Einsatz kommen, wenn das Werkzeug, das durch die erstgenannte Halteeinrichtung 13 getragen wird, verschlissen oder beschädigt ist. Dadurch kann die Bearbeitung des Werkstücks fortgesetzt werden, ohne daß die Werkzeugmaschine für einen Werkzeugwechsel gestoppt werden muß. Somit kann ein Ersatzwerkzeug bereitgestellt werden, das durch einen einfachen Steuerbefehl (drehen des zweiten Zirkularschlitten um einen vorgegebenen Winkel) in die Position des ersten Werkzeugs gebracht werden und zum Einsatz kommen kann ohne daß der Bearbeitungsprozeß wesentlich unterbrochen werden muß.

Alternativ dazu kann die weitere Halteeinrichtung 13a auch ein anderes Werkzeug (z. B. Schlichtfrässpindel) als das von der erstgenannten Halteeinrichtung 13 getragene (z. B. Schruppfrässpindel) aufweisen, so daß auf diese Weise eine Bearbeitung mit unterschiedlichen Werkzeugen in einfacher Weise möglich wird. Dadurch kann nach Abschluß der Schruppbearbeitung im wesentlichen sofort mit der Schlichtbearbeitung des Werkstücks begonnen werden ohne das eine zeitaufwendige Umrüstung oder gar ein Maschinenwechsel erforderlich ist.

Bei der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform ist eine weitere Halteeinrichtung vorgesehen. In Abhängigkeit der Abmessungen des zweiten Zirkularschlittens können auch eine Mehrzahl von Halteeinrichtungen zum Tragen jeweils eines Werkzeugs vorgesehen sein (z. B. 4 Halteeinrichtungen um 90° versetzt angeordnet, wie in Fig. 3a angedeutet), die in beliebiger oder symmetrischer Weise an dem zweiten Zirkularschlitten angeordnet sind, um so eine Mehrzahl unterschiedlicher oder gleicher Werkzeuge zum Einsatz zu bringen, ohne den Bearbeitungsprozeß der Werkzeugmaschine entscheidend unterbrechen zu müssen.

Nachfolgend wird die Positionierung der Halteeinrichtung 13 in einer Ebene, auf der die Mittelpunktsachsen 3 und 7 senkrecht stehen, mit Bezug auf die Fig. 2a bis 2h erläutert.

Ausgehend von einer Ausgangslage, wie in Fig. 2a gezeigt, wird der erste Zirkularschlitten 1 um einen bestimmten Winkel mit einer bestimmten Winkelgeschwindigkeit in eine erste Richtung (Pfeil A) um die erste Mittelpunktsachse 3 gedreht. Gleichzeitig wird der zweite Zirkularschlitten 5 um einen bestimmten Winkel mit einer bestimmten Winkelgeschwindigkeit um die zweite Mittelpunktsachse 7 gedreht (Pfeil B). Die Drehrichtungen des ersten Zirkularschlittens 1 und des zweiten Zirkularschlittens 5 sind dabei entgegengesetzt.

Bei geeigneter Wahl der jeweiligen Drehwinkel und der zugehörigen Drehwinkelgeschwindigkeiten läßt sich die Hauptachse 14 der Halteeinrichtung 13 entlang einer Geraden (Pfeil C) mit einer in Abhängigkeit der Drehwinkel und der Drehwinkelgeschwindigkeiten wählbaren Geschwindigkeit bewegen. Mit Bezug auf Fig. 2b wird beispielsweise der erste Zirkularschlitten 1 im Uhrzeigersinn gedreht, wobei der zweite Zirkularschlitten 5 gegen den Uhrzeigersinn gedreht wird. Diese Drehungen werden entsprechend fortgesetzt, wie in Fig. 2c und 2d gezeigt.

In den Fig. 2a bis 2d ist in beispielhafter Weise die lineare Bewegung der Hauptachse 14 der Halteeinrichtung 13 in Richtung (Pfeil C) entlang einer Mittelachse der Bewegungseinrichtung 30 durch die erste Mittelpunktsachse 3 durch geeignete Wahl der Drehwinkel und Drehwinkelgeschwindigkeiten gezeigt. Durch entsprechende Änderung der jeweiligen Drehwinkel und Drehwinkelgeschwindigkeiten läßt sich jedoch jede beliebige Bahn einer Bewegung der Hauptachse 14 erreichen. Dabei ergibt sich aus den kinematischen Zusammenhängen, daß der erste Zirkularschlitten 1 und der zweite Zirkularschlitten 5 sowohl in entgegengesetzte als auch in gleiche Richtungen gedreht werden, um

eine entsprechende Bahnkurve der Hauptachse 14 zu erreichen.

Wie aus den Fig. 2e bis 2h zu ersehen, läßt sich die in den Fig. 2a bis 2d beschriebene geradlinige Bewegung auch durch Drehungen in die jeweiligen Gegenrichtung erreichen.

Wie aus der Fig. 3a ersichtlich, ist die Bewegungseinrichtung 30 im wesentlichen in einer Ebene angeordnet, wobei sich die Halteeinrichtung 13 senkrecht zu dieser Ebene erstreckt. In bevorzugter Weise ist die Halteeinrichtung 13 entlang seiner Hauptachse 14 durch eine Linearführung bewegbar und trägt an seinem vorderen Ende einen Fräskopf oder dergleichen; bzw. trägt die Halteeinrichtung 13 Linear-Bewegungsvorrichtung mit Linearführung und Linearschlitten, wobei diese Linear-Bewegungsvorrichtung als seriell letzte Bewegungsvorrichtung in der Bewegungseinrichtung angeordnet ist und einen Werkzeughalter mit einem Werkzeug trägt.

Diese Linearführung erstreckt sich parallel zu der ersten bzw. zweiten Mittelpunktsachse 3, 7. In bevorzugter Weise ist die Halteeinrichtung 13 drehbar um seine Hauptachse 14 angeordnet, um den Fräskopf bzw. die Linear-Bewegungsvorrichtung, gelagert der an der Halteeinrichtung 13, entsprechend orientieren zu können wie dies durch die gestrichelte Darstellung in Fig. 3b zu sehen ist. Weiterhin kann die Halteeinrichtung 13 schwenkbar angeordnet sein, wobei die Hauptachse 14 sich unter einem Winkel zu der ersten bzw. zweiten Mittelpunktsachse 3, 7 erstreckt.

In bevorzugter Weise ist die Halteeinrichtung 13 (bzw. ein Teil der Halteeinrichtung) als auswechselbares Modul ausgebildet. Dabei werden Steuer- und Versorgungsanschlüsse direkt mit der Halteeinrichtung 13 verbunden. Die Halteeinrichtung 13 kann dadurch in einfacher Weise von dem Schlitten getrennt und ausgewechselt werden. Dies ermöglicht einen schnellen Werkzeugwechsel.

Bei der gezeigten Bewegungseinrichtung 30 trägt die Halteeinrichtung 13 ein Werkzeug (Fräskopf). Alternativ dazu kann die Bewegungseinrichtung 30 eine Halteeinrichtung aufweisen, das ein Werkstück trägt. Dabei wird das Werkstück durch die Bewegungseinrichtung 30 in der entsprechenden Bearbeitungsposition positioniert, wobei das Bearbeitungswerkzeug im wesentlichen direkt an dem Maschinenfundament gelagert ist.

Die Bewegungseinrichtung 30 ist oberhalb eines Bearbeitungstisches 22 der Werkzeugmaschine, der ein Werkstück 23 trägt, angeordnet.

Diese Bewegungseinrichtung 30 mit der seriell ersten Zirkular-Bewegungsvorrichtung über einen Rahmen fest mit dem Maschinenfundament verbunden, wobei die erste Zirkularführung fest mit diesem Rahmen verbunden ist. Alternativ dazu kann die erste Zirkular-Bewegungsvorrichtung auch kippbar um eine horizontale Achse an dem Rahmen gelagert werden. Eine Werkzeugmaschine in der gezeigten Rahmenbauweise und mit der beschriebenen Bewegungseinrichtung 30 ist besonders steif ausgebildet. Mit einer derartigen Werkzeugmaschine ist es möglich ein Werkstück in einem großen Arbeitsraum, mit hoher Präzision und sowohl mit großen Kräften als auch mit großen Vorschüben zu bearbeiten.

In dem gezeigten Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 3a ist die Halteeinrichtung entlang seiner Hauptachse 14 vertikal durch eine Linearführung verschiebbar bzw. trägt die Halteeinrichtung 13 eine Linear-Bewegungsvorrichtung mit Linearführung und Linearschlitten. Weiterhin kann der Rahmen, der die Bewegungseinrichtung 30 trägt, ebenfalls vertikal verschiebbar ausgebildet sein, um entweder die vertikale Verschiebung der Halteeinrichtung zu ergänzen oder diese zu ersetzen. In bevorzugter Weise ist die Halteeinrich-

tung bzw. die Linear-Bewegungsvorrichtung um ihre Hauptachse drehbar ausgebildet, um beispielsweise einen Fräskopf, wie in Fig. 3a gezeigt, in gewünschter Weise zu orientieren.

Der erste Zirkularschlitten 1 ist im wesentlichen scheibenförmig ausgebildet und ist mit seiner äußeren Umfangsfläche in der ersten Zirkularführung 2 gelagert, die gemäß der gezeigten Ausführungsform ringförmig ausgebildet ist. Wie in Fig. 3b gezeigt ist der scheibenförmige erste Zirkularschlitten 1 durch eine Mehrzahl von Streben gebildet, um das Gewicht möglichst gering zu halten. Diese Streben sind gemäß einer bevorzugten Variante wie in Fig. 3b gezeigt als Sehen in dem kreis- bzw. scheibenförmigen Zirkularschlitten angeordnet. Alternativ dazu kann der erste Zirkularschlitten auch als Vollscheibe ausgebildet sein.

Der zweite Zirkularschlitten 5 ist im wesentlichen scheibenförmig ausgebildet und ist mit seiner äußeren Umfangsfläche in der zweiten Zirkularführung 6 gelagert, die gemäß der gezeigten Ausführungsform in einer kreisförmigen Öffnung in dem scheibenförmigen ersten Zirkularschlitten 1 ausgebildet ist. Durch diese bevorzugte Ausgestaltung ist die erste und zweite Zirkularführung 2, 6 und der erste und zweite Zirkularschlitten 1, 5 im wesentlichen in einer Ebene angeordnet, durch welche die jeweiligen Mittelpunktsachsen 3, 7 senkrecht hindurchgehen. Wie in Fig. 3b gezeigt ist der scheibenförmige zweite Zirkularschlitten 5 ebenfalls durch eine Mehrzahl von Streben gebildet, um das Gewicht möglichst gering zu halten. Diese Streben (4 in Fig. 3a) sind als Sehen paarweise senkrecht zueinander in dem kreis- bzw. scheibenförmigen Zirkularschlitten angeordnet. Alternativ dazu kann der zweite Zirkularschlitten auch als Vollscheibe ausgebildet sein.

Mit Bezug auf die Fig. 4a und 4b ist eine Variante der ersten Ausführungsform gezeigt. Diese Variante entspricht im Wesentlichen der Bewegungseinrichtung 30, die in Verbindung mit den Fig. 1-3b beschrieben ist. Somit werden nachfolgend nur die Unterschiede dieser Variante erläutert. Bei dieser Variante wird die Halteeinrichtung durch eine Dreistreben-Parallelkinematik getragen und bewegt, wobei die Abstützgelenke 15 der Streben auf dem Zirkularschlitten 5 befestigt sind. Der Arbeitsbereich dieser Dreistreben-Parallelkinematik wird somit durch die Bewegungseinrichtung 30 entsprechend verschiebbar. Dadurch erweitert sich auf vorteilhafte Weise der Einsatzbereich (die bearbeitbare Fläche) der Dreistreben-Parallelkinematik erheblich. Alternativ dazu läßt sich auch eine andere, beispielsweise eine Hexapod-Parallelkinematik an dem zweiten Zirkularschlitten befestigen.

Die Parallel-Kinematik ist dabei als dritte, seriell letzte Bewegungsvorrichtung auf dem zweiten Zirkularschlitten gelagert. Dadurch wird eine Gesamt-Bewegungseinrichtung in Form einer Hybrid-Kinematik geschaffen, wobei mehrere Bewegungsvorrichtungen seriell angeordnet sind und eine dieser Bewegungsvorrichtungen z. B. die seriell letzte Bewegungsvorrichtung, die das Werkzeug trägt, eine Parallel-Kinematik ist. Derartige Hybrid-Kinematiken lassen sich mit hoher Präzision in einem größeren Arbeitsbereich positionieren und die Vorteile einer Bearbeitung mit Parallelkinematiken können damit auch für große Werkstücke bzw. mehrere kleine Werkstücke in einer Aufspannung genutzt werden.

Nachfolgend wird mit Bezug auf die Fig. 5a und 5b eine zweite Ausführungsform der Bewegungseinrichtung 30 beschrieben. Bei dieser zweiten Ausführungsform ist die erste der seriell angeordneten Bewegungsvorrichtungen eine Zirkular-Bewegungsvorrichtung, die der ersten Zirkular-Bewegungsvorrichtung gemäß der vorgenannten Ausführungsformen entspricht, und die zweite der seriell angeordneten Be-

wegungsvorrichtungen eine erste Linear-Bewegungsvorrichtung mit einer ersten Linearführung 10 und einem ersten Linearschlitten 9 ist, wobei die erste Linearführung 10 an dem ersten Zirkularschlitten 1 vorgesehen ist und die Halteeinrichtung 13 an dem ersten Linearschlitten 9 vorgesehen ist.

Der erste Zirkularschlitten 1 ist an der ersten Zirkularführung 2 drehbar um eine erste Mittelpunktsachse 3 gelagert. An dem ersten Zirkularschlitten 1 ist die erste Linearführung 10 gelagert, wobei ein erster Linearschlitten 9 linear bewegbar auf der ersten Linearführung 10 gelagert ist. Dieser erste Linearschlitten 9 trägt die Halteeinrichtung 13, die in bevorzugter Weise senkrecht zu der Ebene der Zirkularführung bewegbar ist. In der Ausführungsform ist die erste Linear-Bewegungsvorrichtung punktsymmetrisch zu der ersten Mittelpunktsachse 3 angeordnet, so daß die Hauptachse 14 der Halteeinrichtung 13 entlang einer Geraden bewegbar ist, welche die Mittelpunktsachse 3 schneidet. Durch eine entsprechende Überlagerung der Drehbewegung des ersten Zirkularschlittens 1 mit der linearen Bewegung des ersten Linearschlittens 9 läßt sich die Hauptachse 14 der Halteeinrichtung 13 in jeder beliebigen Position innerhalb der Zirkularführung 2 bzw. des Zirkularbereichs positionieren.

Dabei ist es vorteilhaft die Hauptachse 14 der Halteeinrichtung 13 im wesentlichen innerhalb der ersten Zirkularführung 2, d. h. innerhalb der ersten Lagereinrichtung anzuordnen. Dabei ist ein Abstand A1 einer Hauptachse 14 der Halteeinrichtung 13 von der ersten Mittelpunktsachse 3 stets kleiner oder gleich einem Radius R1 der kreisförmigen Lagereinrichtung der ersten Zirkularführung bzw. des ersten Zirkularschlittens. Durch diese Anordnung wird eine Abstützung bzw. Lagerung der Halteeinrichtung 13 erreicht, bei der die axialen Kräfte von der Halteeinrichtung auf die Schlitten- und Führungseinrichtungen im wesentlichen nur in einer Richtung übertragen werden, unabhängig von der jeweiligen Relativlage der Elemente zueinander.

Durch diese Kombination einer Drehbewegung mit einer Linearbewegung kann die Halteeinrichtung 13 in einfacher Weise auf einer beliebigen Bahn bewegt werden. Diese Ausführungsform ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn die Bearbeitung entlang kreisförmiger Bahnen konzentrisch um die Mittelpunktschse erfolgen kann. In diesem Fall wird die Halteeinrichtung 13 über den Linearschlitten radial positioniert und anschließend nur durch den Zirkularschlitten bewegt. Bei linearen Bearbeitungsbahnen kann die Halteeinrichtung über den Zirkularschlitten positioniert werden und anschließend nur durch den Linearschlitten bewegt werden.

Wie aus den Fig. 3b, 4b und 5b ersichtlich, ist die Bewegungseinrichtung 30 oberhalb eines Bearbeitungstisches 22 angeordnet und durch einen Maschinenrahmen getragen. Durch diese Anordnung läßt sich eine besonders steife Werkzeugmaschine schaffen, wobei die Bearbeitung mit hoher Genauigkeit und mit hohen Kräften durchführbar ist. Durch die Anordnung der Zirkularführungen lassen sich weiterhin hohe Bahngeschwindigkeiten der Hauptachse 14 der Halteeinrichtung 13 erreichen.

Die Ausführungsformen der Bewegungseinrichtung zur Bewegung einer Halteeinrichtung, insbesondere zum Halten eines Werkzeugs und/oder Werkstücks in einer Werkzeugmaschine, weisen Schlitteneinrichtungen auf, die bewegbar auf Führungseinrichtungen gelagert, und zum Tragen der Halteeinrichtung vorgesehen sind, wobei zumindest eine Zirkular-Bewegungsvorrichtung mit einem ersten Zirkularschlitten vorgesehen ist, der drehbar um eine erste Mittelpunktschse durch eine erste Zirkularführung gelagert ist.

Die serielle Bewegungseinrichtung gemäß der vorgenannten Ausführungsformen ist insbesondere zur Verwen-

dung in einer Werkzeugmaschine beschrieben. Dabei kann die Bewegungseinrichtung kleine bis große Bewegungen in einer Ebene mit hohen Bahngeschwindigkeiten bei hoher Präzision und insbesondere mit hohen Kräften ausführen. Weiterhin ist diese Bewegungseinrichtung für relativ große Arbeitsräume geeignet. Somit kann die beschriebene Bewegungseinrichtung unter Nutzung der genannten Vorteile auch in anderen Bereichen und für andere Einsatzzwecke modifiziert werden. Beispielsweise kann die Halteeinrichtung der Bewegungseinrichtung anstelle eines Werkzeugs auch einen Sensor (mechanisch oder optisch) tragen, um die Oberfläche eines Werkstücks abzutasten bzw. zu erfassen. Weiterhin kann die Halteeinrichtung der Bewegungseinrichtung beispielsweise einen Schweißbrenner oder Schweißkopf in einer entsprechenden Schweißvorrichtung, eine Lack-Sprüheinrichtung in einer Lackiervorrichtung oder einen Draht- oder Fadenleger, zum automatischen Verlegen von Leitungen in einer elektrischen Schaltung oder zum Verlegen von Fadenbändern für textile Fadengelege, aufweisen.

Patentansprüche

1. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung, insbesondere zum Halten eines Werkzeuges und/oder Werkstückes in einer Werkzeugmaschine, mit zumindest zwei seriell angeordneten Bewegungsvorrichtungen, mit Führungseinrichtungen und darauf gelagerten, bewegten Schlitteneinrichtungen, wobei die Halteeinrichtung an einer seriellen Bewegungsvorrichtung vorgesehen ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß zumindest eine der seriell angeordneten Bewegungsvorrichtungen als eine Zirkular-Bewegungsvorrichtung mit einer ebenen Zirkularführung (2, 6) und einem Zirkularschlitten (1, 5) ausgebildet ist, wobei der Zirkularschlitten (1, 5) durch die Zirkularführung (2, 6) drehbar um deren Mittelpunktschse (3, 7) gelagert ist.
2. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Halteeinrichtung (13, 13a) ein Werkzeug oder eine Werkzeugaufnahmeeinrichtung trägt.
3. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Halteeinrichtung (13, 13a) ein Werkstück oder eine Werkstückaufnahmeeinrichtung trägt.
4. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach der Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Zirkularschlitten (1, 5) als serielle Bewegungsvorrichtung eine Parallelkinematik trägt.
5. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Parallelkinematik eine Dreistreben-Parallelkinematik oder eine Hexapod-Parallelkinematik ist.
6. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Parallelkinematik eine Halteeinrichtung für ein Werkzeug oder eine Werkzeugaufnahmeeinrichtung bzw. ein Werkstück oder eine Werkstückaufnahmeeinrichtung trägt.
7. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Zirkular-Bewegungsvorrichtungen eine erste Zirkular-Bewegungs-

vorrichtungen mit einer ersten Zirkularführung (2) und einem ersten Zirkularschlitten (1) ist, wobei der erste Zirkularschlitten (1) drehbar durch die erste Zirkularführung (2) um deren erste Mittelpunktsachse (3) gelagert ist, und eine zweite der seriell angeordneten Bewegungsvorrichtungen auf dem ersten Zirkularschlitten (1) gelagert ist.

8. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite der seriell angeordneten Bewegungsvorrichtung eine zweite Zirkular-Bewegungsvorrichtungen mit einer zweiten Zirkularführung (6) und einem zweiten Zirkularschlitten (5) ist, wobei der zweite Zirkularschlitten (5) drehbar durch die zweite Zirkularführung (6) um deren zweite Mittelpunktsachse (7) gelagert ist, die zweite Zirkularführung (6) auf dem ersten Zirkularschlitten (1) gelagert ist, und die Halteeinrichtung (13, 13a) an dem zweiten Zirkularschlitten (5) vorgesehen ist.

9. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß eine dritte seriell angeordnete Bewegungseinrichtung mit Halteeinrichtung an dem zweiten Zirkularschlitten (5) vorgesehen ist.

10. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Mittelpunktsachse (7) parallel und beabstandet zu der ersten Mittelpunktsachse (3), wobei die zweite Mittelpunktsachse (7) auf einer Kreisbahn koaxial um die ersten Mittelpunktsachse (3) bewegbar ist.

11. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Zirkularschlitten (1) im wesentlichen in einer Ebene der ersten Zirkularführung (2) angeordnet ist.

12. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Zirkularschlitten (5) im wesentlichen in einer Ebene der zweiten Zirkularführung (6) angeordnet ist.

13. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Zirkularführung (6) innerhalb der ersten Zirkularführung (2) angeordnet ist.

14. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Zirkular-Bewegungsvorrichtungen und die zweite Zirkular-Bewegungsvorrichtungen im wesentlichen in einer Ebene angeordnet sind.

15. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Halteeinrichtung (13, 13a) innerhalb der zweiten Zirkularführung (2) angeordnet ist.

16. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Zirkularschlitten (1) und/oder die erste Zirkularführung (2) eine geschlossene kreisförmige erste Lagereinrichtung um die erste Mittelpunktsachse (3) aufweist.

17. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Zirkularschlitten (5) und/oder die zweite Zirkularführung (6) eine geschlossene kreisförmige zweite Lagereinrich-

tung um die zweite Mittelpunktsachse (7) aufweist.

18. Bewegungseinrichtung nach Anspruch 16 und 18, dadurch gekennzeichnet, daß ein Radius (R1) der ersten Lagereinrichtung kleiner als ein doppelter Radius (R2) der zweiten Lagereinrichtung ist.

19. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Halteeinrichtung (13, 13a) eine Hauptachse (14) aufweist, wobei ein erster Abstand (A1) der Hauptachse (14) der Halteeinrichtung (13, 13a) von der ersten Mittelpunktsachse (3) stets kleiner oder gleich dem ersten Radius (R1) der kreisförmigen ersten Lagereinrichtung ist.

20. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine weitere Halteeinrichtung (13a) durch den zweiten Zirkularschlitten (5) gelagert ist.

21. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Halteeinrichtungen (13, 13a) im wesentlichen gleich ausgebildet sind.

22. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach Anspruch 20 oder 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Halteeinrichtungen (13, 13a) im wesentlichen im gleichen Abstand zu der zweiten Mittelpunktsachse (7) angeordnet sind, wobei die Halteeinrichtungen (13, 13a) auf einer Kreisbahn koaxial um die zweite Mittelpunktsachse (7) bewegbar sind.

23. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite der seriell angeordneten Bewegungsvorrichtungen eine erste Linear-Bewegungsvorrichtung mit einer ersten Linearführung (10) und einem ersten Linearschlitten (9) ist, wobei die erste Linearführung (10) an dem ersten Zirkularschlitten (1) vorgesehen ist und die Halteeinrichtung (13) an dem ersten Linearschlitten (9) vorgesehen ist.

24. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Linearführung (10) im wesentlichen parallel zu einer Ebene der ersten Zirkularführung (2) angeordnet ist.

25. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Linearführung (10) in der Ebene der ersten Zirkularführung (2) angeordnet ist.

26. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach einem der Ansprüche 23 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Linearführung (10) punktsymmetrisch zu der ersten Mittelpunktsachse (3) angeordnet ist.

27. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach einem der Ansprüche 23 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Zirkularschlitten (1) im wesentlichen in einer Ebene der ersten Zirkularführung (2) angeordnet ist.

28. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach einem der Ansprüche 23 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß die Halteeinrichtung (13) innerhalb der ersten Zirkularführung (2) angeordnet ist.

29. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach einem der Ansprüche 23 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Zirkularschlitten (1) und/oder die erste Zirkularführung (2) eine geschlossene kreisförmige erste Lagereinrichtung

um die erste Mittelpunktsachse (3) aufweist.

30. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, daß die Halteeinrichtung (13) eine Hauptachse (14) aufweist, wobei ein erster Abstand (A1) der Hauptachse (14) der Halteeinrichtung (13) von der ersten Mittelpunktsachse (3) stets kleiner oder gleich einem ersten Radius (R1) der kreisförmigen ersten Lagereinrichtung ist.

31. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 30, dadurch gekennzeichnet, daß eine zweite Linearführung (18) an der Halteeinrichtung (13, 13a) vorgesehen ist, wobei die zweite Linearführung (18) sich im wesentlichen senkrecht zur Ebene der Zirkular-Bewegungsvorrichtung erstreckt.

32. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 31, dadurch gekennzeichnet, daß die Zirkular-Bewegungsvorrichtung drehfest bezüglich einem Maschinenfundament (21) angeordnet ist.

33. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, daß die Zirkular-Bewegungsvorrichtung oberhalb eines auf dem Maschinenfundament (21) gelagerten Bearbeitungstisch (22) angeordnet ist.

34. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach Anspruch 32 oder 33, dadurch gekennzeichnet, daß die Zirkular-Bewegungsvorrichtung kippbar bezüglich einem Maschinenfundament (21) angeordnet ist.

35. Bewegungseinrichtung zur Bewegung zumindest einer Halteeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 34, dadurch gekennzeichnet, daß die Halteeinrichtung (13, 13a) drehbar und/oder schwenkbar angeordnet ist.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

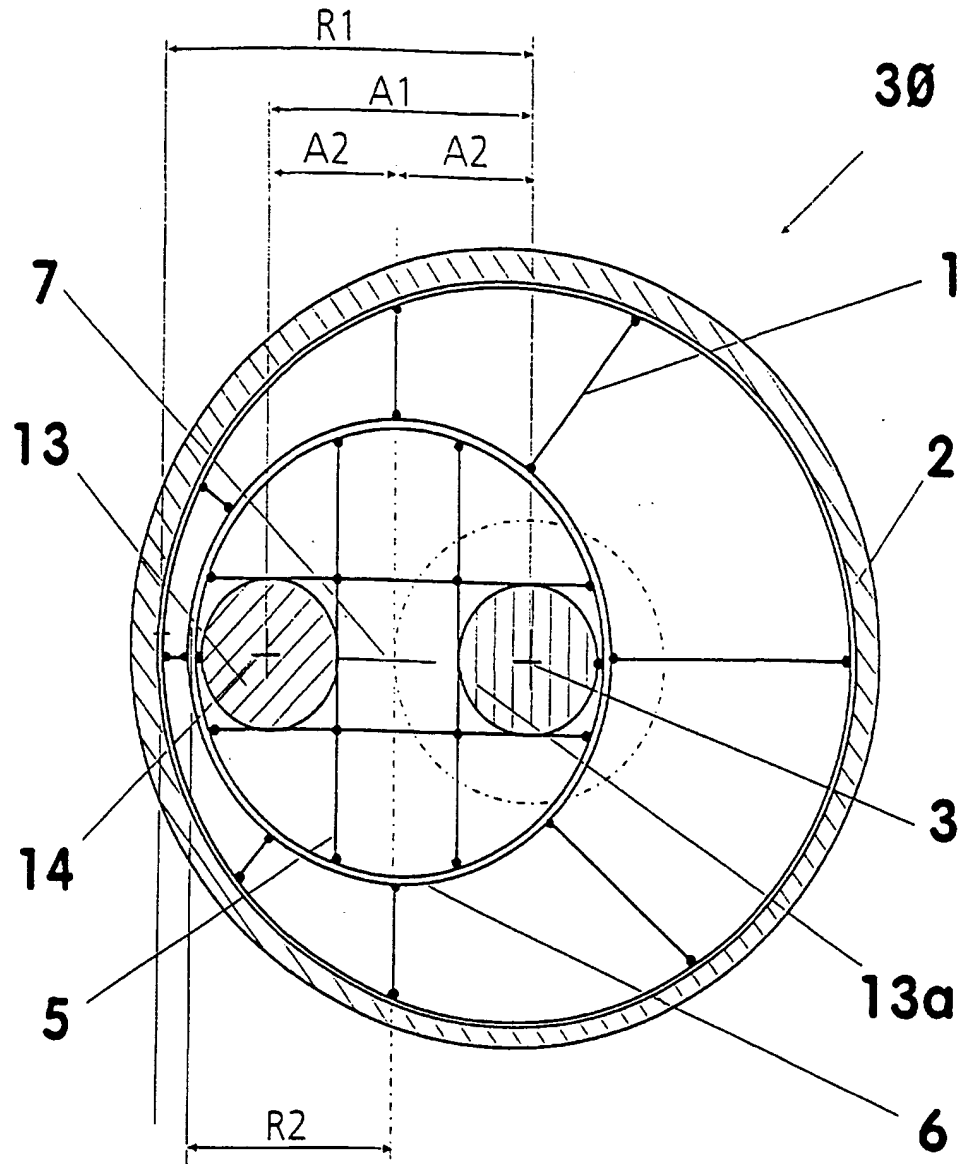


Fig. 1

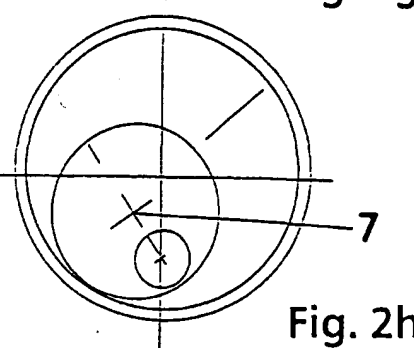
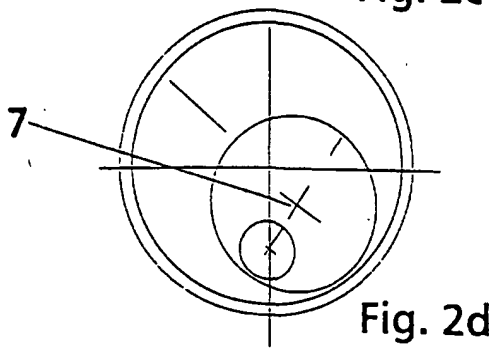
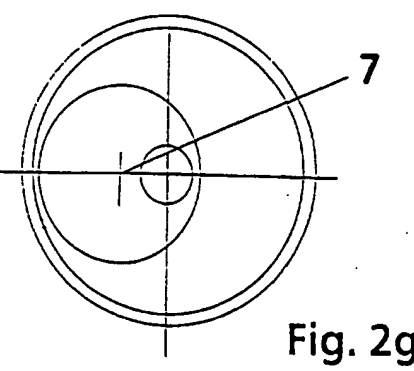
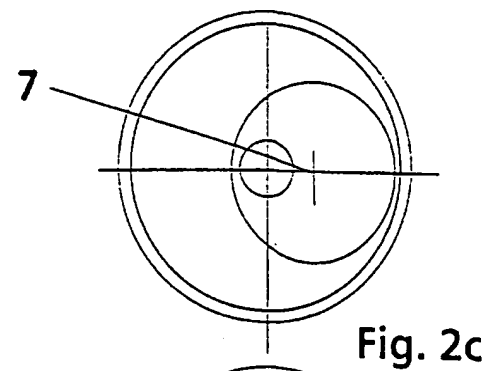
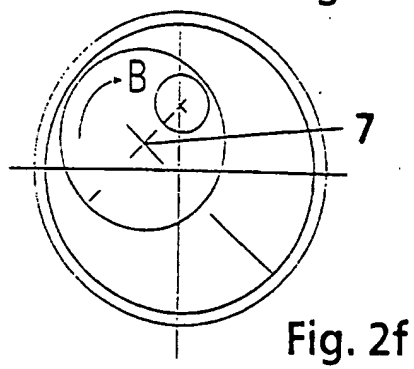
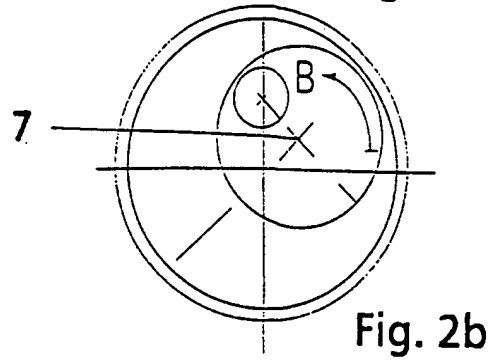
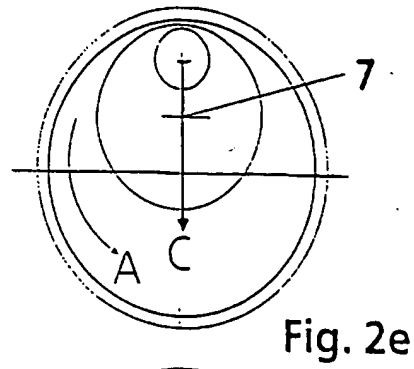
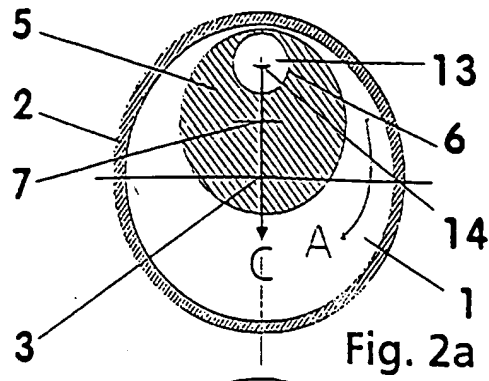


Fig. 2

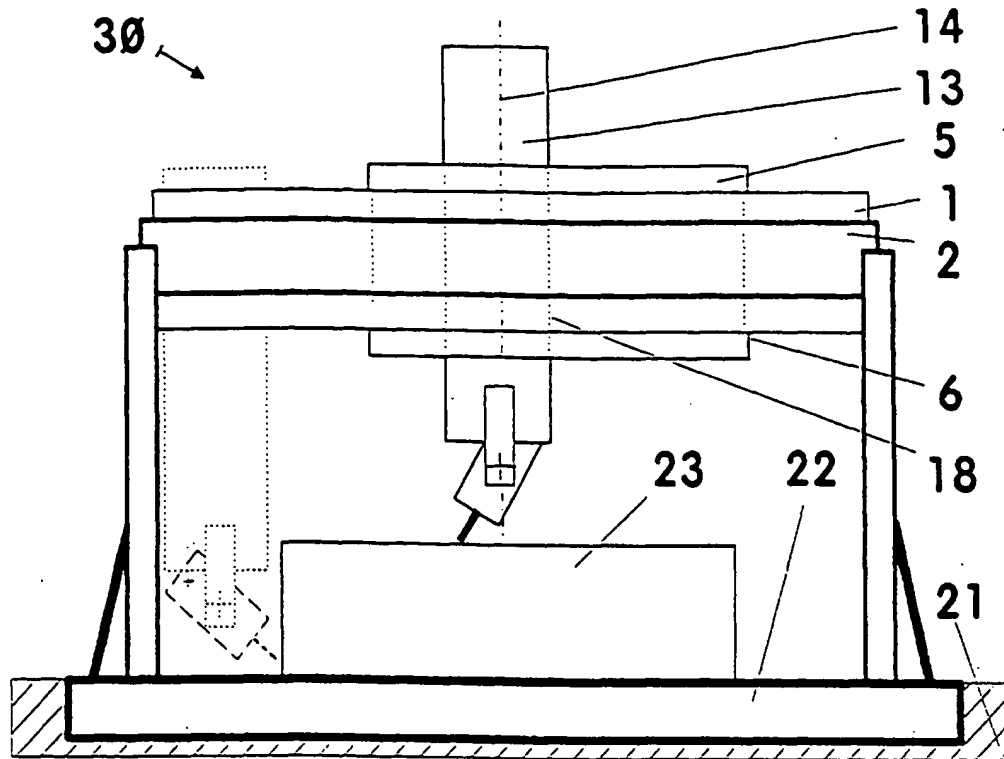


Fig. 3a

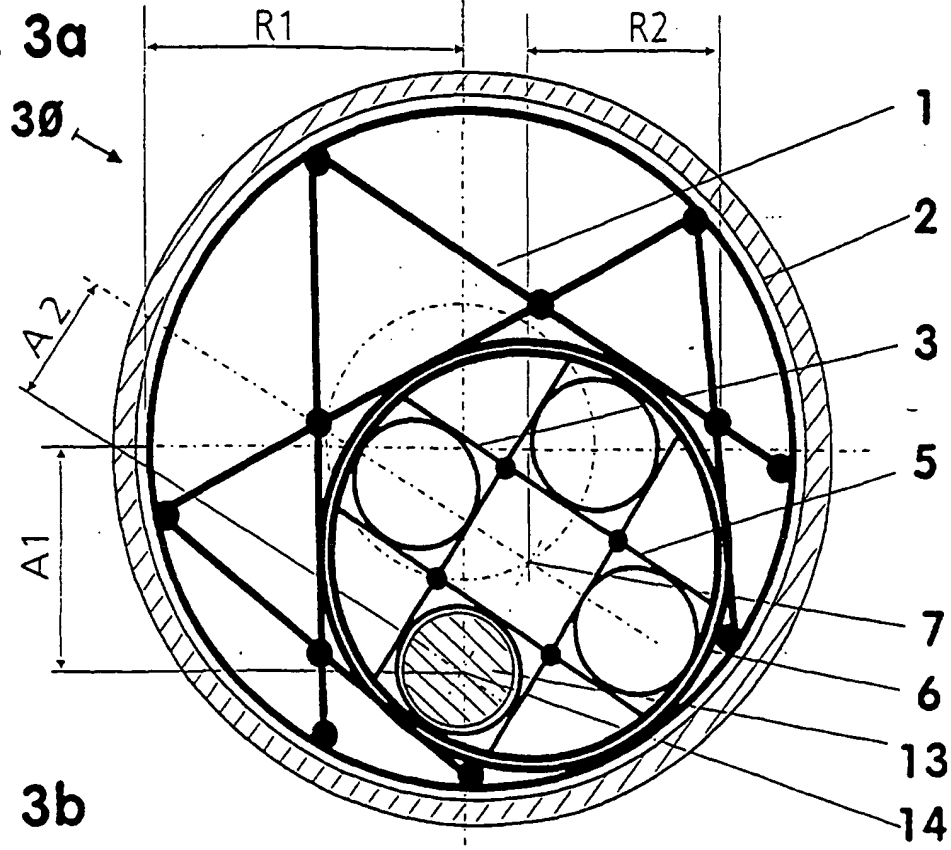


Fig. 3b

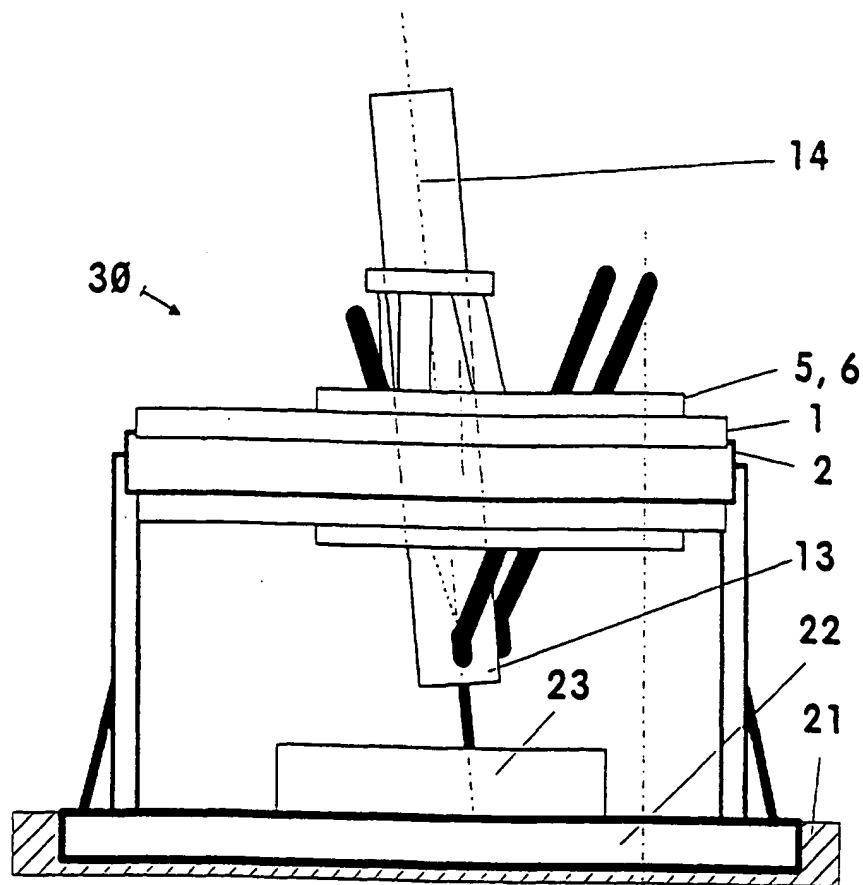


Fig. 4a

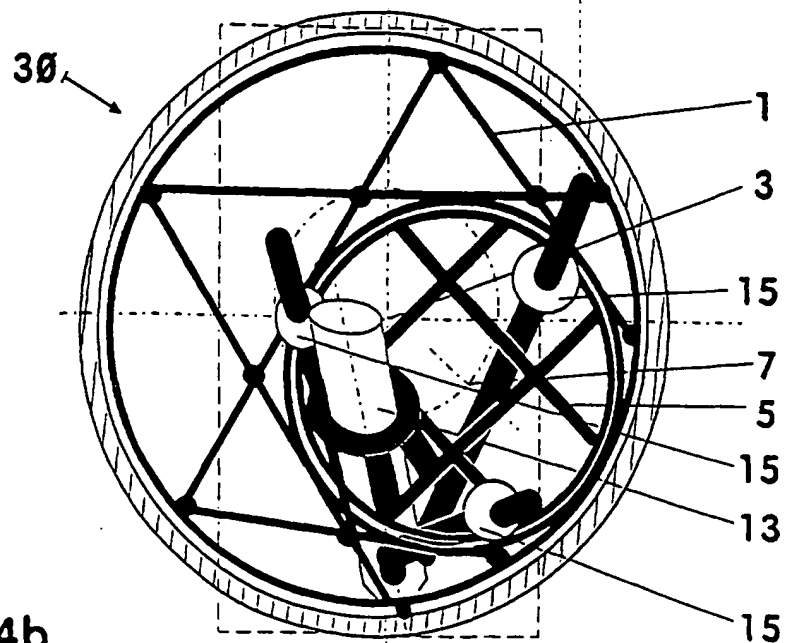


Fig. 4b

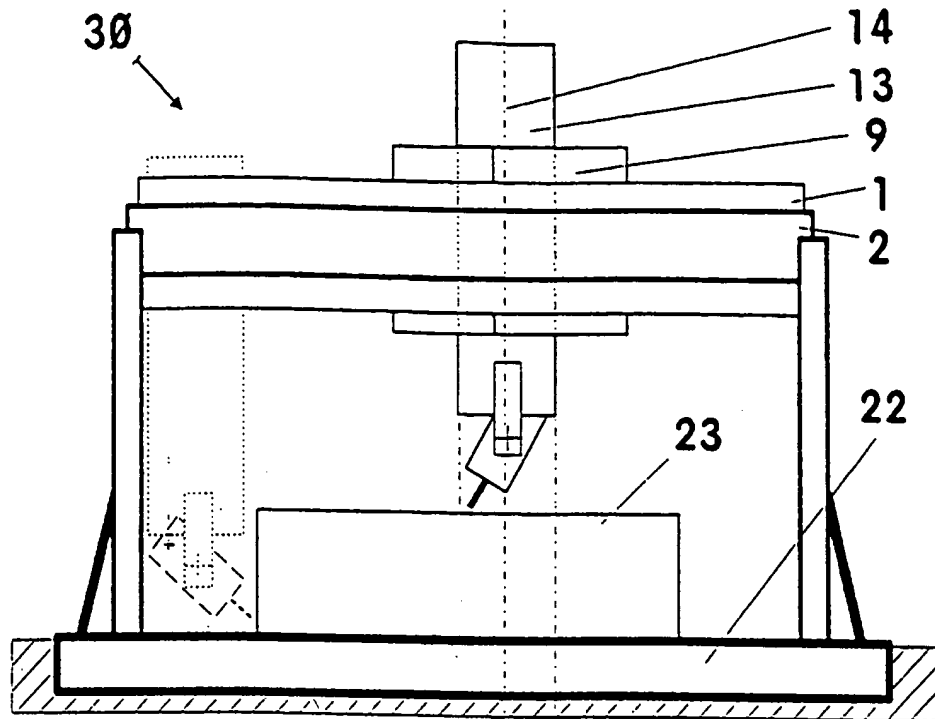


Fig. 5a

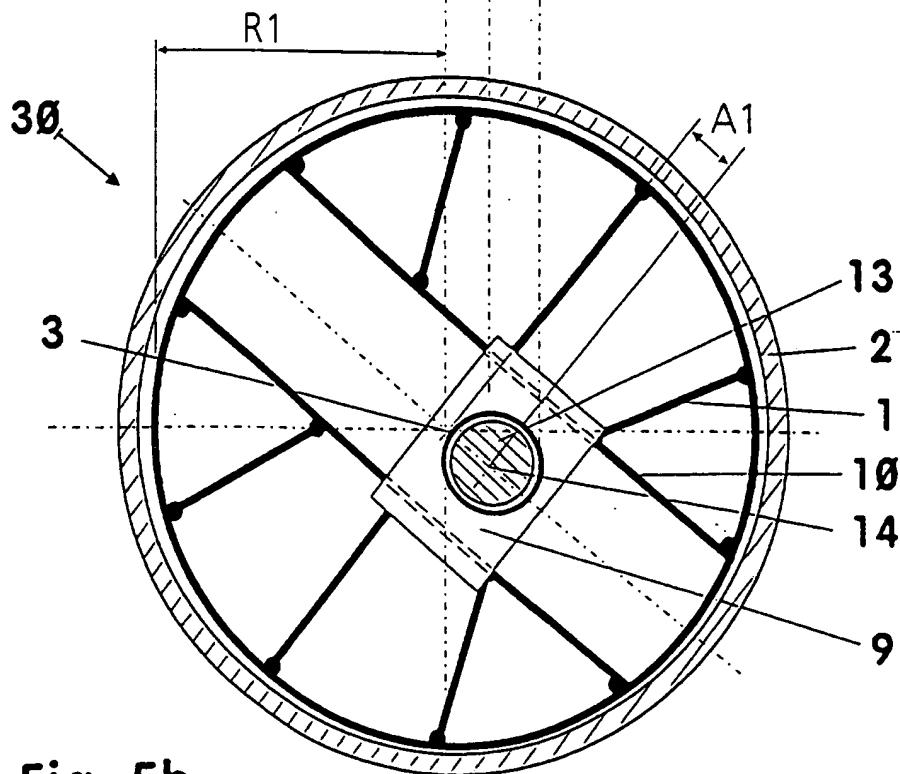


Fig. 5b